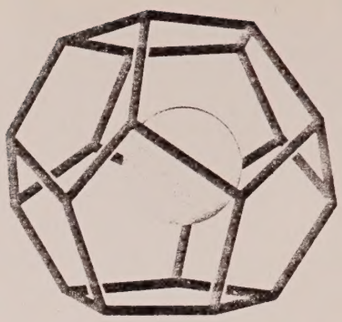
NADIR



SPE 3.501
Avril 1981

TRANSPORT DE MASSE EN POINT A POINT A HAUT DEBIT PAR SATELLITE

ETUDE ET PLAN D'EXPERIMENTATION DE PROTOCOLES

voir pages 19-22, etc.

Christian HUITEMA
Bruno VO-QUI
Isabelle VALET

Projet Pilote NADIA c/o INRIA B.P. 105 78153 Le Chesnay Cedex France Tél. (3) 955.35.67 Telex 698 109 F

SOMMAIRE

I - INTRODUCTION

I.1 Position du problème

I.2 Conditions de l'expérimentation

I.2.1 Caractéristiques de la liaison par satellite

I.2.2 Caractéristiques des équipements et des données à transmettre

I.2.3 Caractéristiques du logiciel de transmission

II - POURQUOI UN PROTOCOLE PARTICULIER

II.1 Présentation du HDLC

II.2 Problèmes posés par l'étude des protocoles adéquats

II.2.1 Longueur des messages

II.2.2 Contrôle d'erreur

II.2.3 Numérotation

II.2.4 Contrôle de flux

II.3 Synthèse des problèmes posés par HDLC sur liaison satellite

III - ETUDE DES SOLUTIONS

III.1 Longueur des messages

III.2 Contrôle d'erreur

III.2.1 Reprise au vol

III.2.2 Reprise en fin

III.3 Numérotation

III.4 Contrôle de flux

IV - GESTION DES EXPERIENCES

V - BIBLIOGRAPHIE

I - INTRODUCTION

Ce document détaille et complète les approches proposées dans les documents (1) et (2).

Son objectif est de proposer des protocoles pour la transmission en point à point de gros volumes d'information entre deux équipements, l'équivalent actuel étant le transfert manuel de supports (disque, bande).

Dans l'expérience envisagée - fig. 1.1 - les deux équipements sont reliés par une liaison à haut débit (jusqu'à 2Mbits/s), par satellite de télécommunication (TELECOM 1 par exemple), donc à long délai de propagation (300ms). Cette liaison est utilisée pour le transport de masse d'un seul ensemble de données d'un équipement à l'autre.

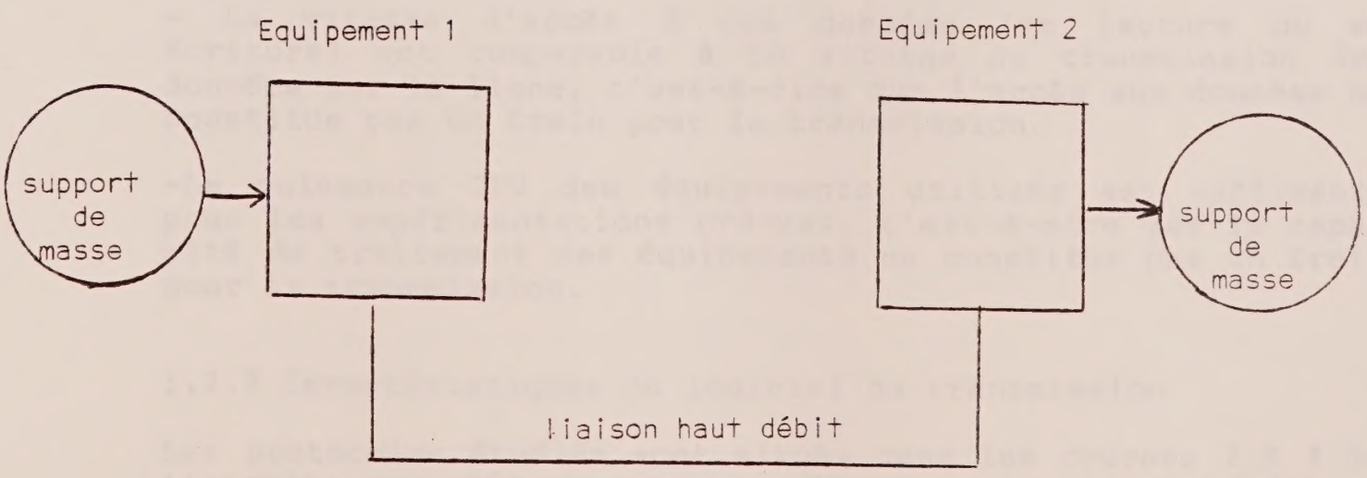


Figure 1.1.

I.2 Conditions de l'expérimentation

I.2.1 Caractéristiques de la liaison satellite

La liaison satellite est définie par les caractéristiques suivantes :

- débit de la liaison 64 kbits/s à 2 Mbits/s

- délai de propagation 300 ms

- Taux d'erreur meilleur que 10^{-6} pendant 99 % du temps.

I.2.2 Caractéristiques des équipements et des données à transmettre

Ces caractéristiques sont données d'un point de vue strictement fonctionnel, pour définir une base de travail nécessaire à la suite de l'étude. Cette partie de l'étude ne prend pas en compte les caractéristiques spécifiques de systèmes particuliers, ni la définition des supports de masse à utiliser. Le choix des matériels pourra ultérieurement limiter le champ des expérimentations.

- Les données à transmettre sont considérées comme une suite d'octets et sont adressables par octet à partir d'un support à accès direct (disque ou mémoire par exemple).

- La vitesse d'accès à ces données (en lecture ou en écriture) est comparable à la vitesse de transmission des données sur la ligne, c'est-à-dire que l'accès aux données ne constitue pas un frein pour la transmission.

-La puissance CPU des équipements utilisés est suffisante pour les expérimentations prévues, c'est-à-dire que la capacité de traitement des équipements ne constitue pas un frein pour la transmission.

I.2.3 Caractéristiques du logiciel de transmission

Les protocoles étudiés sont situés dans les couches 2 à 4 de l'architecture ISO. Le service offert aux couches supérieures comprend d'une part l'émission ou la réception d'un ensemble de données, et d'autre part le compte rendu de la transmission (correcte ou non). Comme dans le cas d'un transfert manuel, la transmission ne comporte aucune conversion de données.

II POURQUOI UN PROTOCOLE PARTICULIER ?

II.1 Présentation de HDLC

HDLC est le protocole standard de niveau logique défini par l'ISO. HDLC est un protocole orienté bit ; les trames d'information sont séparées par des fanions. Avec chaque trame est transmis un CRC, permettant au récepteur de détecter une erreur de transmission éventuelle. En cas d'erreur détectée, la trame erronée est ignorée.

Les trames données sont numérotées, soit modulo 8, soit modulo 128 (numérotation étendue). L'émetteur n'est pas obligé d'attendre qu'une trame soit acquittée avant de transmettre la suivante ; toutefois une limite, dite fenêtre d'émission, est fixée au nombre de trames qu'il peut transmettre après la dernière trame acquittée ; la valeur maximum de cette fenêtre d'émission (7 ou 127) dépend du type de numérotation.

Le récepteur détecte une erreur de transmission quand il reçoit une trame "hors séquence", c'est-à-dire dont le numéro n'est pas exactement supérieur d'une unité à celui de la trame précédemment reçue. L'ordre "Rejet" (REJ) lui permet de demander la retransmission de toutes les trames à partir d'un certain numéro (figure II.1.1). L'ordre "Rejet-Sélectif" (SREJ) lui permet de demander de répéter une trame d'un numéro donné. Ces deux ordres sont par ailleurs équivalents à un acquittement de toutes les trames de numéro inférieur au numéro précisé, ce qui a pour conséquence qu'on ne peut pas demander la répétition par des ordres SREJ successifs d'une trame tant que toutes les précédentes n'ont pas été bien reçues (figure II.1.2).

L'émetteur est amené à répéter des trames non acquittées, soit après réception d'un ordre REJ ou SREJ, soit si aucun acquittement n'a été reçu au bout d'une temporisation.

L'ordre "Récepteur non prêt" (RNR), envoyé par le récepteur, provoque quand il est reçu par l'émetteur l'arrêt de l'envoi de toute trame "données" supplémentaire ; la transmission reprendra après un ordre indiquant que le récepteur est prêt (RR, REJ, SREJ). Ce mécanisme, joint à la fenêtre d'émission, permet de réaliser le contrôle de flux.

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
Amateur Radio Digital Communications, Grant 151

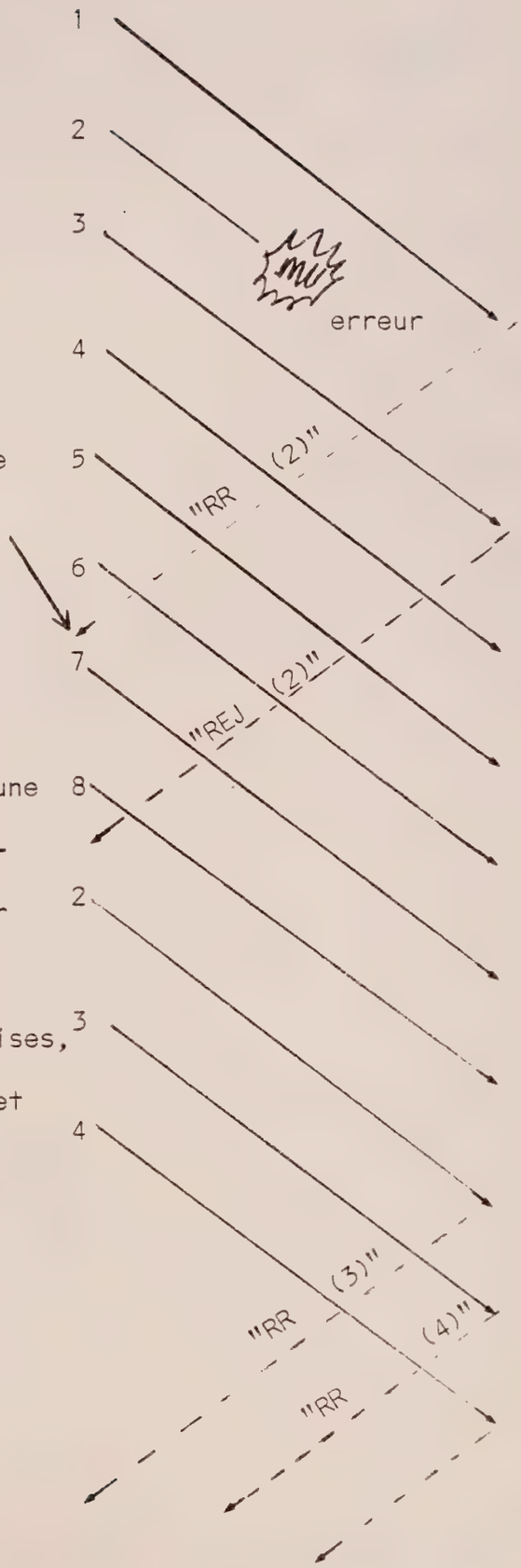
https://archive.org/details/transport-de-mass

Emetteur

Récepteur

L'émetteur envoie une suite de trames numérotées, dont il garde une copie...

... jusqu'à en avoir reçu un acquittement, comme ici de la trame 1



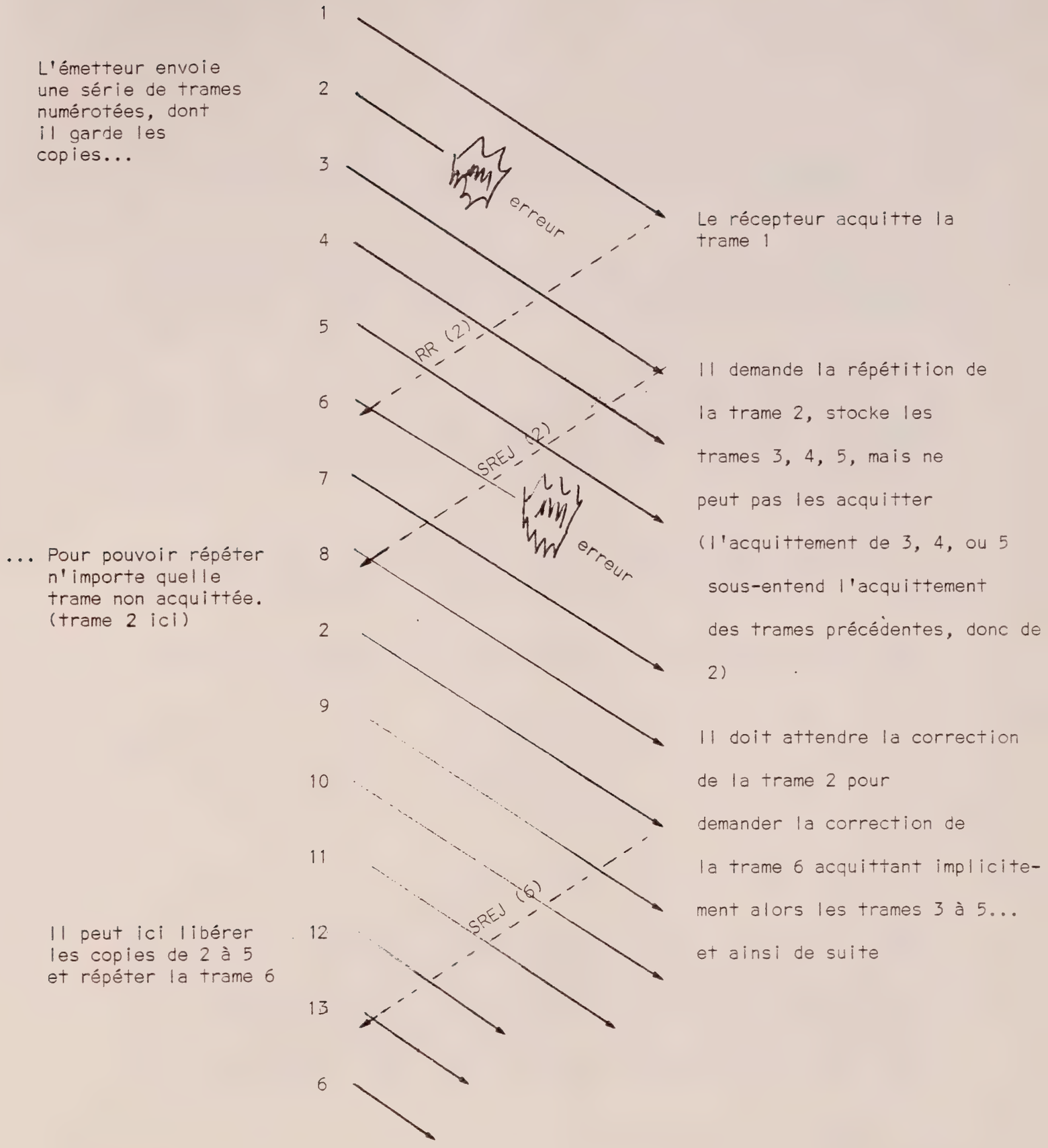
Le récepteur reçoit la trame 1 et l'acquitte

Recevant la trame 3 sans avoir reçu la trame 2, le récepteur demande la répétition des trames à partir de 2, et ignore toutes les trames arrivant ensuite. (trames 3 à 8 ici)

Après réception d'une demande de retransmission, l'émetteur réémet toutes les trames déjà transmises, non acquittées (2 et les suivantes ici)

Le récepteur acquitte la trame numéro 2... et ainsi de suite.

II.1.1. Correction des erreurs par Rejet



II. 1.2 Correction des erreurs par rejet séiectif.

II.2 Problèmes posés par l'étude de protocoles adéquats

II.2.1 Longueur des messages

L'utilisation d'une liaison satellite pour le transfert de gros volumes d'information conduit à rechercher une longueur de message adaptée aux caractéristiques de cette liaison (débit, taux d'erreur).

- La longueur théoriquement optimale des messages dépend du taux d'erreur de la liaison. Sur une liaison satellite, le taux d'erreur n'est pas fixe, mais dépend de phénomènes externes, notamment climatiques. Il peut varier rapidement entre deux transmissions et même au cours d'une transmission. Le domaine de variation envisageable se situe entre 10^{-5} et 10^{-8}.

Si on considère que la longueur de message doit permettre un transfert sans erreur de 99 % des trames, on peut calculer la longueur théorique L des messages en fonction du taux d'erreur :

Probabilité (trame sans erreur)=(1-Taux d'erreur bit)^{L} 99%

D'où les résultats :

Taux d'erreur	10^{-5}	L	128 Ko
	10^{-6}	L	1 Ko
	10^{-7}	L	12 Ko
	10^{-8}	L	125 Ko

Ce champ de variation théorique peut être restreint : les messages émis et reçus sont stockés dans des tampons en mémoire vive, ce qui conduit à limiter cette longueur pour un taux d'erreur faible. D'autre part, certains équipements de transmission actuels introduisent un taux d'erreur supplémentaire correspondant à la perte de trames, ce facteur devenant non négligeable pour des trames courtes (et donc très nombreuses).

Pour évaluer ce que coûte une longueur de message mal adaptée, prenons l'exemple d'un volume d'information de 100 Mo transmis par des messages dont la longueur varie de 1 à 16 Ko. Le calcul du volume d'information (en octets) retransmis dans chaque hypothèse donne les résultats suivants :

Taux d'erreur / Longueur	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
1 Ko	8000 Ko(12,5%)	800 Ko	80 Ko	8 Ko
2 Ko	16000 Ko	1600 Ko	160 Ko	16 Ko
4 Ko	32000 Ko	3200 Ko	320 Ko	32 Ko
8 Ko	64000 Ko	6400 Ko	640 Ko	64 Ko
16 Ko	=	12800 Ko	1280 Ko	128 Ko

(Ce calcul est fait en considérant que les erreurs sont distribuées et en négligeant les erreurs sur les retransmissions).

Le choix de messages courts quel que soit le taux d'erreur limite le volume de retransmission, mais introduit une surcharge de l'unité centrale (le temps de traitement de chaque message par l'unité centrale est indépendant de la longueur du message, et lorsque le nombre de messages augmente, l'occupation de l'unité centrale croît dans les mêmes proportions). De la même façon le rendement de la retransmission (rapport Nb de bits utiles/Nb de bits transmis) diminue lorsque la longueur des trames diminue.

II.2.2 Problème de la correction des erreurs

Les algorithmes prévus dans le protocole HDLC pour la correction des erreurs ne permettent pas, comme le montre la figure II.2.2.1., tirée de [3], d'avoir un bon rendement (90 %) quel que soit le taux d'erreur :

- Le mode "REJET" oblige à retransmettre, en plus de la trame à corriger, toutes les trames émises après celle-ci.

- Le mode "REJET SELECTIF" ne permet pas de corriger plus d'une erreur pendant un délai de retransmission. Si le taux d'erreur bit dépasse un certain seuil (environ 10^{-6} pour une liaison à 2 M bit/s), le rendement s'effondre (voir figure II.2.2.1).

La figure II.2.2.2 montre, en fonction du débit et du taux d'erreur, trois domaines :

- l'un : bas débits, bas taux d'erreur, où l'algorithme "REJET" est satisfaisant (rendement $>$ 90 %),

- l'autre : débits et taux d'erreur moyens, où l'algorithme "REJET SELECTIF" est satisfaisant (rendement $>$ 90 %),

- un troisième : forts débits, forts taux d'erreur, où des algorithmes plus performants doivent être étudiés.

Dans le mode "REJET" comme dans le mode "REJET SELECTIF" l'émetteur doit être capable de répéter toutes les trames émises non encore acquittées ; le volume d'information correspondant est au moins égal au produit du débit par deux fois le délai de propagation dans le mode rejet, par quatre fois ce délai dans le mode rejet sélectif.

Pour une transmission à 2 M bit/s par satellite, ce volume sera :

environ 150 Ko pour "Rejet"

environ 300 Ko pour "Rejet sélectif".

Rendement du protocole = rapport bits utiles reçus / bit transmis

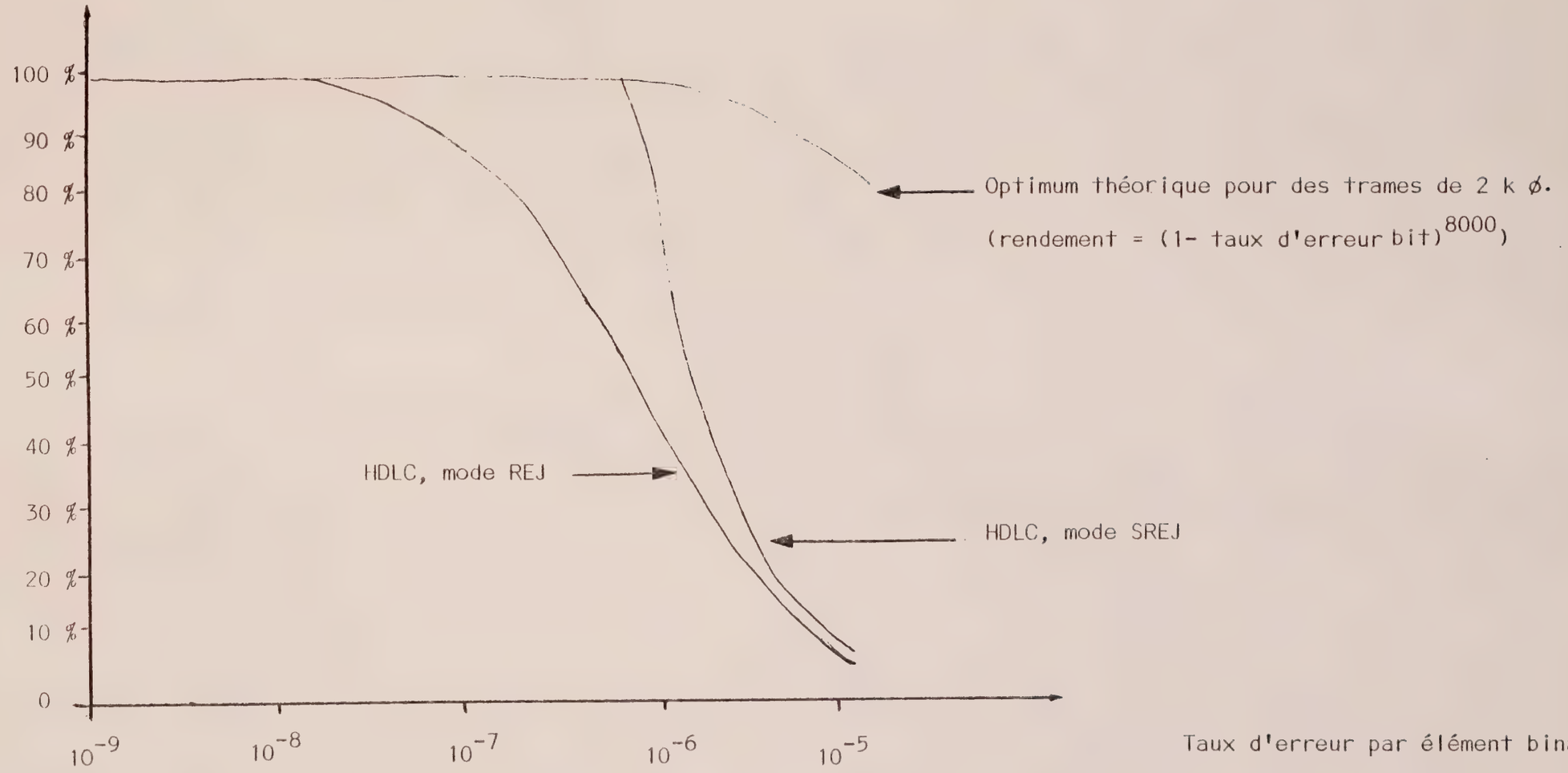


Figure II.2.2.1 Rendement d'une liaison satellite à 2 M bit / S

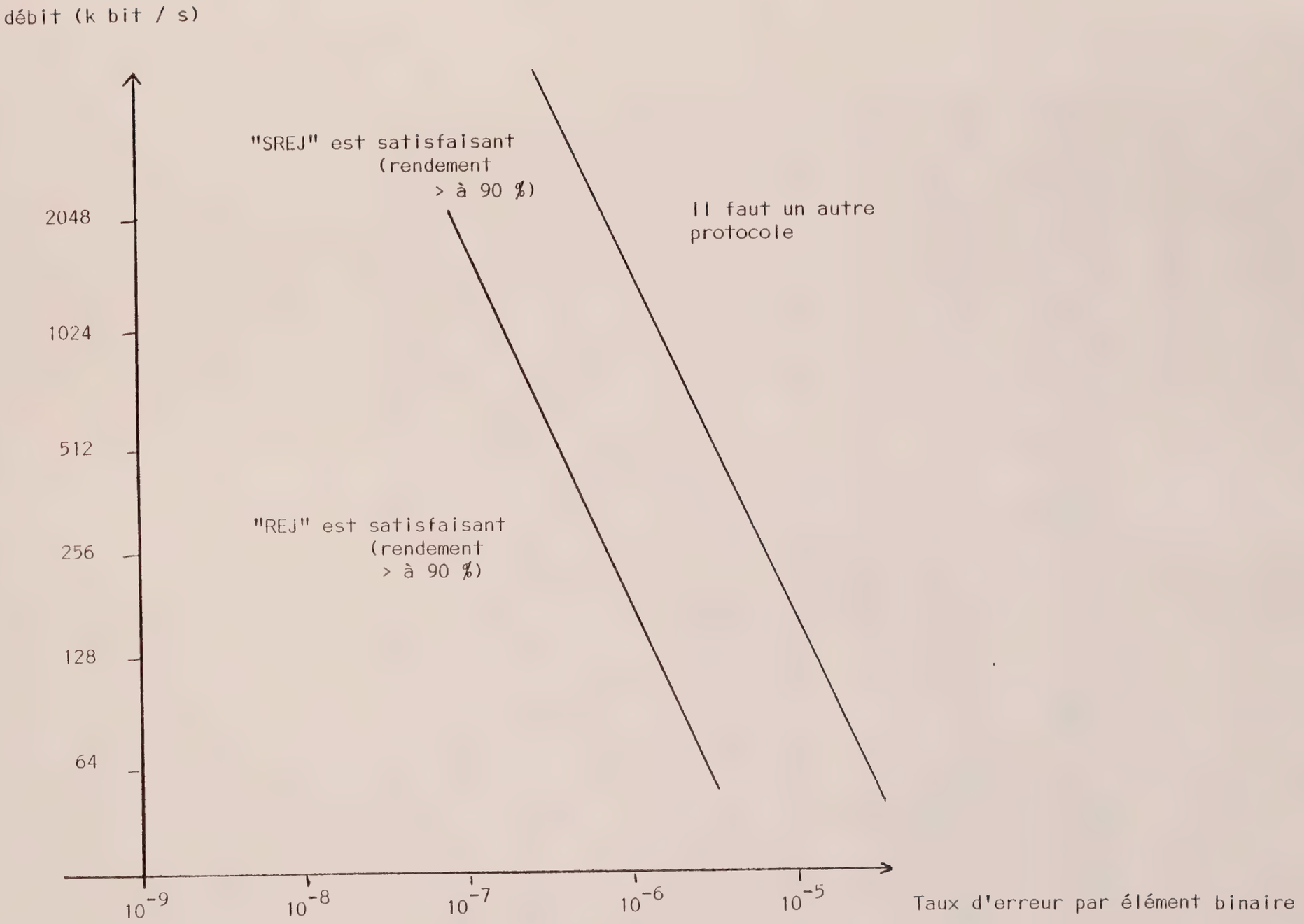


Figure II.2.2.2. Domaines de validité

II.2.3. Numérotation

La numérotation des messages doit être choisie de façon à permettre le transfert de messages sans ambiguïté. Ce choix est donc lié à la méthode de contrôle d'erreur employée, et à la longueur de message utilisée.

Dans le cas des protocoles HDLC, avec contrôle d'erreur par REJ, la quantité minimale d'information à numéroter est égale à : débit x délai x 2, soit pour une liaison à 2 Mb/s, un volume de 150 Ko, transmis par 10 à 150 messages si la longueur de message varie de 1 à 16 Ko. Pour un contrôle d'erreur par SREJ, la quantité minimale d'information à numéroter est de 300 Ko, transmis par 19 à 300 messages.

Le mode de numérotation utilisé par HDLC (modulo 7 ou, en numérotation étendue, modulo 128) n'est donc pas suffisant.

Le choix d'un mode de numérotation des messages modulo M implique que les messages soient de longueur fixe (problème de répétition d'un message avec longueur de message changée). Dans ce cas, le modulo M doit être choisi en fonction de la méthode de contrôle d'erreur utilisée. Le choix d'un mode de numérotation absolue permet de numéroter sans ambiguïté l'ensemble du volume d'information à transmettre, soit en nmérotant des trames (de préférence de longueur fixe) soit en numérotant des octets (ce qui permettrait des trames de longueur variable). Un champ de numérotation de 16 bits permet, si on numérote des octets, de désigner 65 Ko, et si on numérote des trames de longueur 1 Ko, de désigner 65 Mo. L'objectif de cette étude étant le transport de masse d'information (estimation de volume : quelques centaines de Mo), un champ de numérotation de 32 bits, qui permet de désigner plus de 4 milliards d'octets, semble nécessaire.

II.2.4. Contrôle de flux

Les mécanismes de contrôle de flux mis en oeuvre sur une liaison permettent à l'équipement récepteur de contrôler en temps réel le débit de l'équipement émetteur.

Le délai de propagation d'une liaison par satellite modifie les résultats du contrôle de flux de HDLC : l'ordre d'arrêt (RNR) émis par l'équipement récepteur pour demander l'arrêt de l'équipement émetteur parvient à l'émetteur après t (délai de propagation). Pour un débit de 2 Mb/s, la quantité d'information reçue par l'équipement récepteur entre l'émission de l'ordre d'arrêt (RNR) et l'arrêt effectif de l'émission est de 1,2 Mbits (cf. figure II.2.4.). Si on suppose que la voie de retour peut être établie sur chaînon terrestre, la quantité de mémoire nécessaire est encore de 0,6 Mbits. De plus, ce mécanisme de contrôle introduit un retard égal au double du délai de propagation pour une voie de retour par satellite, et égal au délai de propagation pour une voie de retour sur chaînon terrestre. Le mécanisme de contrôle de flux HDLC ne permet donc pas un contrôle en temps réel sur liaison satellite.

II.3. Synthèse des problèmes posés par HDLC sur liaison satellite

L'étude de HDLC effectuée au paragraphe précédent montre donc que :

- le contrôle d'erreur de HDLC par la méthode REJ oblige à répéter des trames bien reçues. La méthode SREJ permet de ne retransmettre que les trames erronées, mais ne permet de répéter qu'une trame par délai de retransmission, et ne permet pas d'acquitter une trame correcte tant que les trames précédentes n'ont pas été corrigées.

- Le mode de numérotation HDLC des messages est inadapté aux caractéristiques d'une liaison satellite.

- Le contrôle de flux de HDLC ne permet pas un contrôle en temps réel de l'émetteur par le récepteur sur liaison satellite.

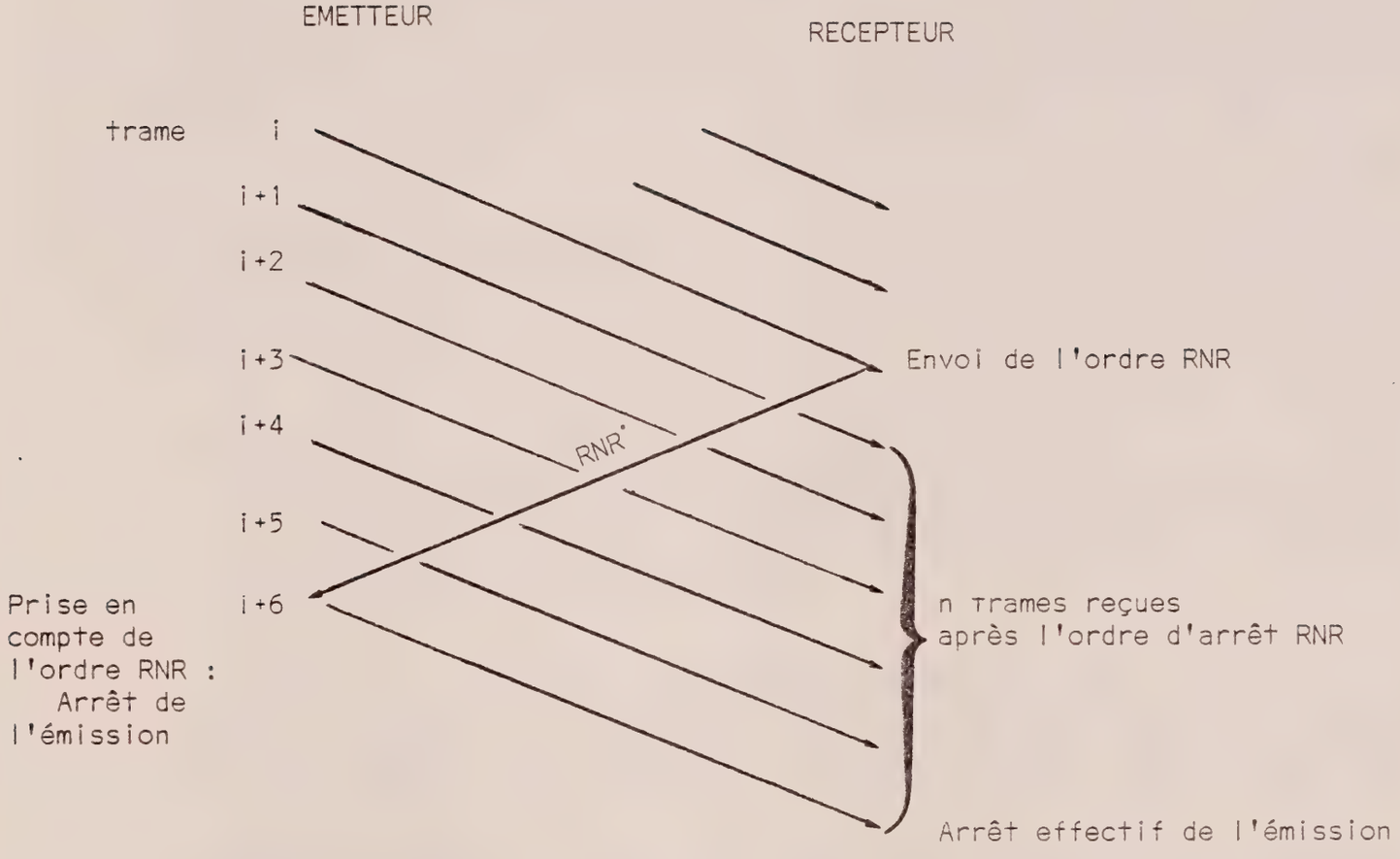

EMETTEUR
RECEPTEUR
trame
i
i+1
i+2
i+3
i+4
i+5
i+6
Envoi de l'ordre RNR
RNR
Prise en compte de l'ordre RNR : Arrêt de l'émission
n trames reçues après l'ordre d'arrêt RNR
Arrêt effectif de l'émission

Figure II.2.4

Un protocole mieux adapté aux liaisons satellite doit donc être étudié. Il devrait avoir les propriétés suivantes :

- longueur des messages optimisée en fonction des caractéristiques de la liaison,

- contrôle d'erreur permettant une gestion simplifiée des acquittements et une technique des répétitions plus performante,

- grand espace de numérotation,

- contrôle de flux adapté aux caractéristiques de la liaison.

III ETUDE DE SOLUTIONS

III.1. Longueur des messages

L'étude du paragraphe II.2.1. a montré que la longueur optimale des messages dépend du taux d'erreur de la liaison, le choix de la longueur à utiliser prenant également en compte les problèmes de taille mémoire et de surcharge de l'unité centrale et de la transmission.

* Première solution : Messages de longueur fixe

Cette longueur est choisie en fonction du taux d'erreur moyen de la liaison, et de façon à minimiser les contraintes de taille mémoire et de charge.

Cette solution ne tient pas compte des variations éventuelles du taux d'erreur.

* Deuxième solution : Messages de longueur constante

Le taux d'erreur sur la liaison pouvant varier en fonction de phénomènes externes, il est estimé en début de transfert et détermine une longueur de message qui reste constante durant tout le transfert.

.../...

La détermination du taux d'erreur peut être fournie par :

- une information système

- un calcul fait sur la transmission précédente (si l'intervalle entre deux transmissions est peu important)

- un calcul en temps réel sur un transfert de test en préalable, cette solution ne semblant envisageable que pour des transports de très gros volumes d'information

- d'autres méthodes...

Cette solution ne garantit pas une détermination exacte du taux d'erreur en début de transmission, et ne prend pas en compte les variations de ce taux d'erreur en cours de transmission. Elle permet cependant d'éffectuer une série d'expérimentations pour décider si la longueur des messages est déterminante vis à vis de la transmission.

Dans le cas où la longueur des messages devrait être précisément adaptée au taux d'erreur de la liaison, on serait amené à définir des protocoles plus complexes modifiant en cours de transmission la longueur de message en fonction du taux d'erreur mesuré en temps réel : la complexité du problème nécessitant une étude plus approfondie.

III.2. Contrôle d'erreur

L'étude faite au paragraphe II.2.2. montre que les mécanismes de contrôle d'ereur REJ et SREJ de HDLC ne sont pas totalement adaptés pour une liaison satellite à haut débit :

En mode REJ, la retransmission d'un message implique la retransmission de tous les messages suivants, ce qui représente pour une liaison à 2 Mb/s, un volume de 150 Ko à retransmettre pour corriger une erreur.

En mode SREJ, il n'est pas possible d'acquitter les messages qui suivent un message erroné, et il n'est pas possible de corriger plus d'une erreur à la fois (c.à.d tant que la reprise de l'erreur précédente n'est pas effectuée). Ceci conduit à une gestion complexe des acquittements pour l'équipement récepteur, qui peut stocker les données reçues et non encore acquittées, mais qui doit mémoriser cet état. D'autre part, la quantité de mémoire utilisée par l'émetteur pour garder une copie des messages non acquittés est importante (300 Ko).

.../...

Le rendement et la gestion de la transmission peuvent être améliorés en effectuant des reprises totalement sélectives, soit dans le cours de la transmission (modification du mode SREJ pour en minimiser les inconvénients : mode "Reprise au vol"), soit en fin de transmission (répétition après une première phase de transmission : mode "Reprise en fin").

Dans les deux cas, l'envoi des acquittements par l'équipement récepteur est identique et décrit par la figure III.2.

- Le récepteur acquitte positivement chaque message dès que possible, ce qui permet à l'émetteur de détecter rapidement (par armement d'une temporisation entre les acquittements) une panne du récepteur ou de la liaison. Si le récepteur n'a pas de nouveau message à acquitter, il peut répéter le dernier acquittement pour éviter le diagnostic de panne à l'émetteur.

- Pour se prémunir contre la perte d'acquittements, le récepteur peut introduire une redondance en acquittant des champs regroupant plusieurs messages consécutifs. Par exemple, cf. figure III.2.

  . Réception de d + 1 à e : Acquittement d + 1 à e
  . Réception de e + 1 à f : Acquittement d + 1 à f

  Ce groupage permet également d'acquitter plusieurs messages consécutifs par un seul acquittement.

- L'émetteur détecte un mauvais fonctionnement de la liaison lorsque la différence entre le numéro du dernier message émis et le numéro du dernier message acquitté est supérieure à une valeur N, avec par exemple

$$N = \frac{3 \times \text{débit} \times \text{délai}}{\text{longueur de message}}$$

  ce qui permet d'autoriser le retard d'un acquittement tout en contrôlant la liaison.

  Le traitement des messages d'acquittement par l'émetteur diffère selon le mode de contrôle d'erreur utilisé : reprise en vol ou en fin.

.../...

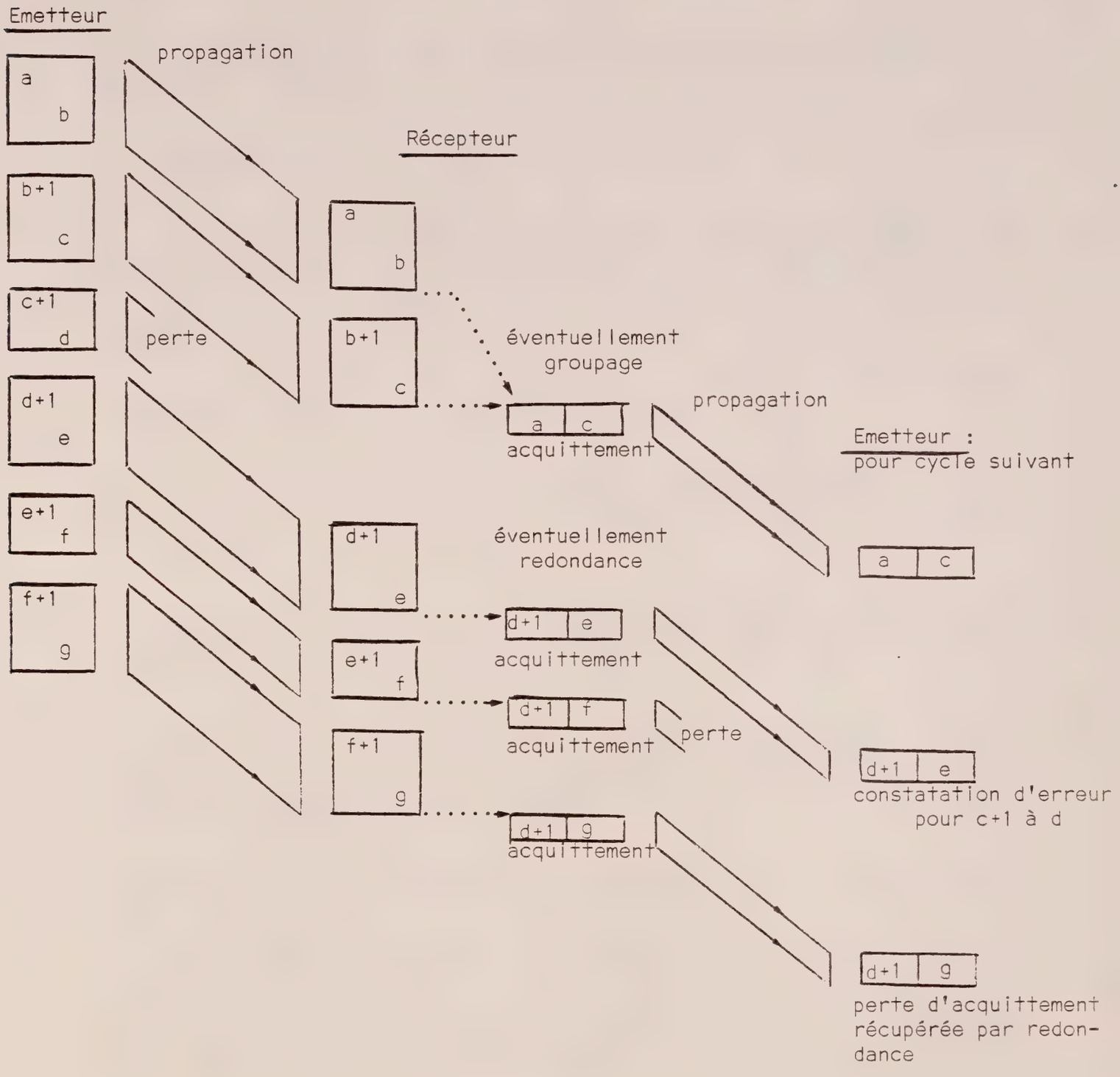


Figure III. 2. Mécanisme des acquittements

III.2.1. Reprise au vol

L'émetteur transmet des messages numérotés et, à réception des acquittements fournis par le récepteur, détermine les messages à répéter.

Ces messages sont répétés dès que possible dans le cours de la transmission (cf. figure III.2.1.1.).

La détection d'un message à répéter est faite par comparaison de la séquence des numéros de messages envoyés. En effet, le récepteur acquitte les messages bien reçus dans l'ordre où il les reçoit. Pour détecter les messages à répéter, l'émetteur utilise une zone mémoire gérée en anneau et qui contient les numéros des messages émis et en attente d'acquittement.

- A chaque message émis ou réémis, le numéro du message est mis dans l'anneau, à la première position libre.

- A chaque acquittement reçu, l'analyse des numéros de message de l'anneau à partir du numéro de premier message à libérer permet de déterminer les numéros des messages bien reçus (à libérer) et des messages à répéter. Ce mécanisme est détaillé dans l'annexe III.2.1.2.

Le nombre de messages en attente d'acquittement varie suivant le débit de la liaison et la longueur des messages. A 2 Mb/s, ce nombre est compris entre 10 (pour des messages de 16 Ko) et 150 (pour des messages de 1 Ko).

En fin d'émission des données, l'émetteur envoie un message "fin de données", et après répétition éventuelle des dernier messages non acquittés, un message "fin de transmission". Ces deux messages seront répétés à l'issue d'une temporisation sur non réponse du récepteur.

Le mécanisme d'acquittements et de répétitions de cette méthode est illustré par un exemple sur la figure III.2.1.1.

La redondance introduite par l'acquittement d'un champ de messages permet de pallier la perte ou le non-envoi d'un acquittement (sur la figure III.2.1.1. ACK(9) non envoyé ou ACK(3-4) perdu). Mais dans le cas où la perte d'un acquittement est suivie d'une erreur (exemple (13) et (14), le message (13) dont l'acquittement est perdu sera retransmis.

Dans le cas d'erreurs successives (exemple (6) et (7), la répétition du dernier acquittement positif par le récepteur ne provoque aucune action particulière à l'émetteur, les messages déjà acquittés ayant été libérés.

.../...

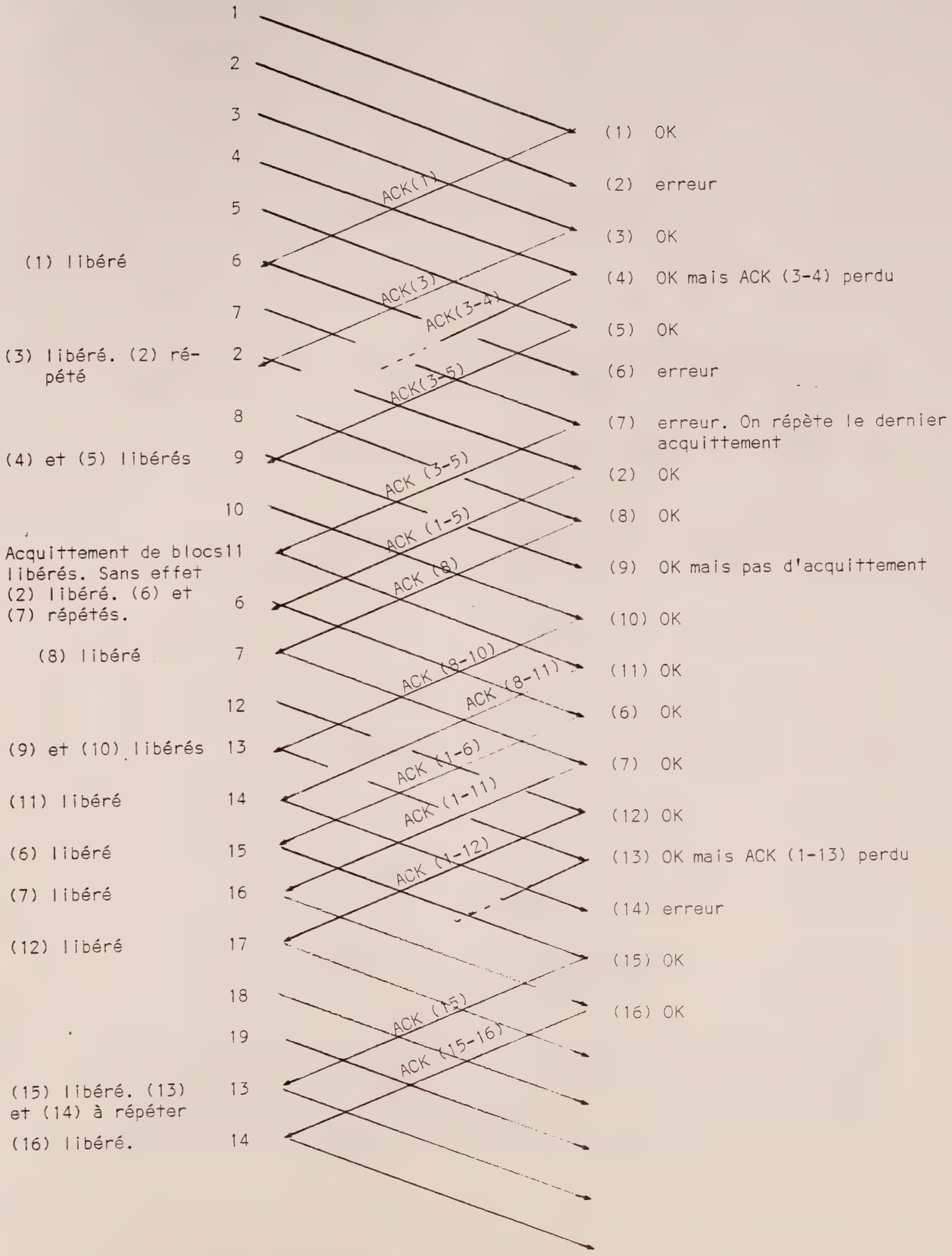


Figure III.2.1.1. Reprise au vol

ANNEXE III.2.1.2.

GESTION DES ACQUITTEMENTS

- Algorithme

A réception d'un champ d'acquittement, soit ACK (n1, n2), les messages de numéro compris entre n1 et n2 sont recherchés dans l'anneau

Tous les messages de l'anneau dont le numéro est compris entre n1 et n2 sont libérés et otés de l'anneau.

Tous les messages non libérés situés avant le dernier message libéré sont à répéter et sont otés de l'anneau (en explorant l'anneau à partir de la première position à libérer).

Exemple :

Anneau : 5.6.7.2.8.9.

Si on reçoit :	* ACK(3-5)	5 est libéré et oté de l'anneau
	* ACK(3-6)	5 et 6 sont libérés et otés de l'anneau
	* ACK(6)	6 est libéré, 5 est à répéter 5 et 6 sont otés de l'anneau
	* ACK(6-7)	6 et 7 sont libérés, 5 est à répéter, 5, 6 et 7 sont otés de l'anneau
	* ACK(1-4)	2 est libéré, 5, 6 et 7 sont à répéter, 2, 5, 6 et 7 sont otés de l'anneau.

- la gestion des acquittements est simplifiée en mémorisant l'acquittement précédent et en calculant la "différence" avec l'acquittement à traiter. Ceci permet également de minimiser le traitement pour un acquittement répété. D'autres solutions d'optimisation de cet algorithme pourront être étudiées pour minimiser le balayage de l'anneau si nécessaire.

.../...

III.2.2. Reprise en fin

La transmission est décomposée en deux phases et décrite par la figure III.2.2. :
- la première comporte l'émission séquentielle des données à transmettre, et la réception des acquittements fournis par le récepteur.

A l'issue de cette première phase, l'émetteur a constitué une "image" de l'ensemble de données transmises et de l'ensemble des données non acquittées.

- La deuxième phase comporte - si nécessaire- la retransmission sélective des messages non acquittés. Elle peut comporter plusieurs cycles, chacun d'eux étant composé de la retransmission des messages non acquittés au cycle précédent. Pour chaque cycle, la retransmission des données est faite de manière séquentielle à partir du début.

A la fin de la première phase, et à la fin de chaque cycle, un message de service sera envoyé par l'équipement émetteur :

. Message "indication de basculement" si l'émetteur décide un nouveau cycle de retransmission.

. Message "fin de transfert" si l'émetteur constate que le transfert est terminé.

Le récepteur émet en retour un message d'acceptation (acceptation de basculement ou de fin), éventuellement précédé des acquittements non encore fournis, ou à l'issue de la fin de traitement de la phase en cours. Ce message peut être accompagné ou remplacé par des messages d'état ou d'erreur.

Pour cette méthode de contrôle d'erreur, le traitement des acquittements reçus au cours de chaque phase permet de constituer une table image du transfert qui définit l'ensemble de données à transmettre dans la phase (ou le cycle) suivant.

Cette table contient les informations permettant d'identifier les données en erreur (à retransmettre au prochain cycle). Si la longueur des messages est fixe, il suffit de mémoriser pour chaque message en erreur son numéro (sur 32 bits). Pour donner un exemple du dimensionnement de cette table dans un cas défavorable, supposons un ensemble de données de 500 Moctets transmis par messages de 2 Ko avec un taux d'erreur de 10^{-6}. En supposant des erreurs réparties, on obtient 2000 erreurs à la fin de la première phase, ce qui suppose une dimension de la table à 8 Ko. En cas de dépassement de capacité de cette table (ce qui indique une mauvaise qualité de transmission), l'émetteur provoque l'arrêt du transfert.

.../...

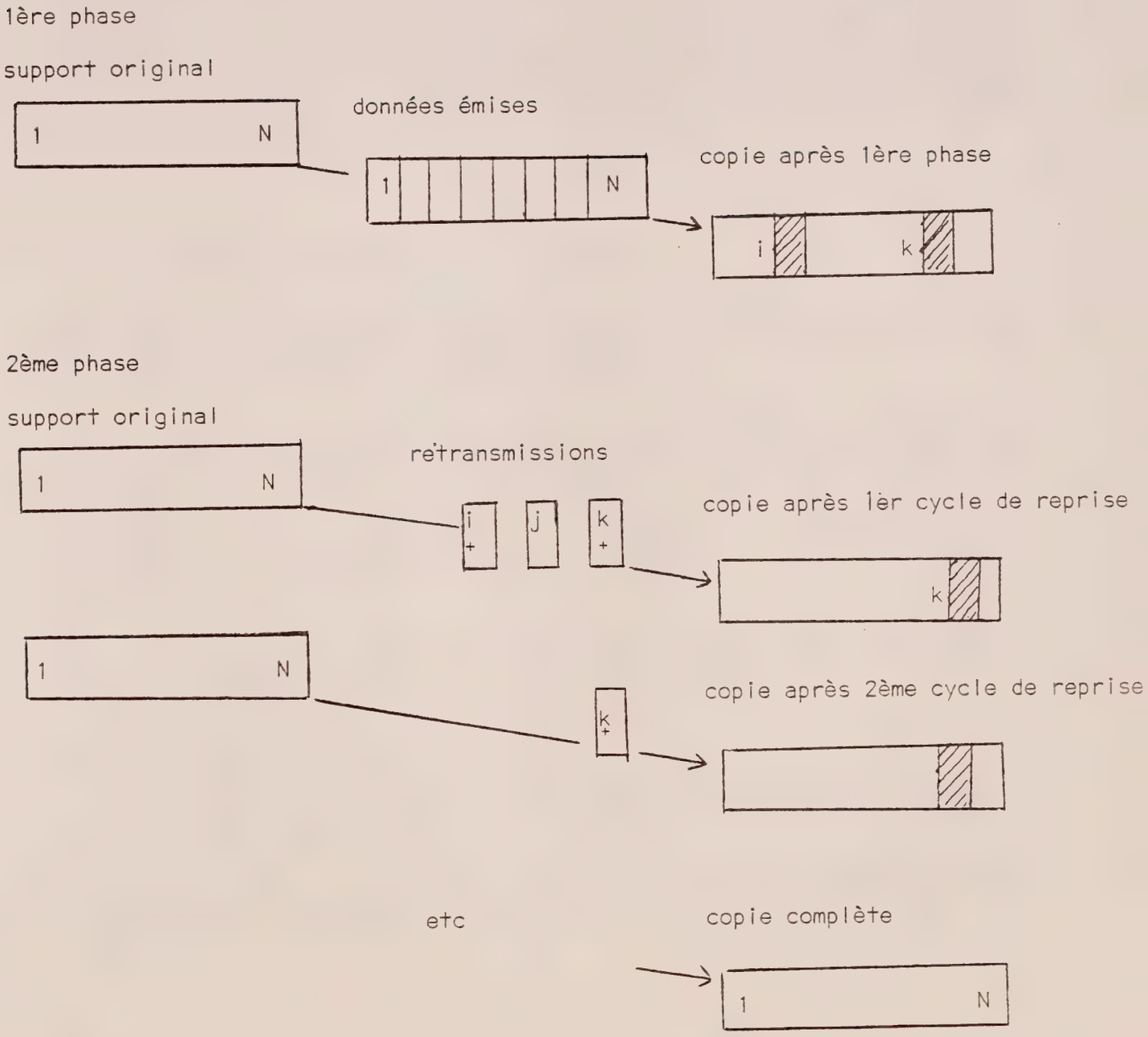


Figure III.2.2. Reprise en fin

III.3 Numérotation des messages

L'étude faite au paragraphe II.2.3. a montré que le mode de numérotation des messages dépend de la méthode de contrôle d'erreur utilisée.

Parmi les méthodes de contrôle d'erreur étudiées au paragraphe III.2, le contrôle par reprise en fin impose un mode de numérotation absolue (c'est-à-dire désignant sans ambiguïté l'ensemble des messages), puisque les répétitions de messages en erreur se font après une première phase de transfert de l'ensemble des données.

Ce mode de numérotation sera utilisé également pour d'autres méthodes de contrôle d'erreur (reprise au vol). La numérotation des octets de l'ensemble des données sera choisie - de préférence à une numérotation des messages - parce qu'elle présente l'avantage de représenter chaque donnée d'un message par son adresse relative au début de l'ensemble des données à transmettre, le champ de numérotation étant, dans chaque cas, de 32 bits.

III.4 Contrôle de flux

L'étude faite au paragraphe II.2.4. a montré que les mécanismes utilisés par HDLC ne permettaient pas un contrôle de flux en temps réel pour une liaison satellite.

* Une solution proposée pour les expérimentations consiste à ne pas mettre en oeuvre de mécanismes particuliers pour le contrôle de flux. L'asservissement en temps réel de l'émetteur par le récepteur est remplacé par une négociation préalable à la transmission, qui permet à l'émetteur et au récepteur de convenir d'un débit acceptable pour la durée de la transmission.

Les variations de débit instantané peuvent être absorbées, pour le récepteur, par une mémoire tampon dimensionnée en fonction du débit et des ressources utilisables.

Si cette mémoire tampon est saturée, le récepteur peut :

- soit arrêter la transmission en cours (et négocier un débit moins élevé pour la prochaine transmission...)

- soit continuer la transmission, les messages perdus par la saturation de mémoire tampon au récepteur ne sont pas acquittés et sont retransmis par l'émetteur.

.../...

* Si cette solution, au vu des expérimentations, montre qu'il est nécessaire de mettre en oeuvre un mécanisme de contrôle de flux plus fin, des méthodes de contrôle par envoi de crédits seront étudiées. La nature même de la liaison satellite implique que le contrôle de flux ne peut pas être fait en temps réel (à cause de l'importance du délai de propagation). Les méthodes à étudier sont basées sur l'anticipation de l'occupation des ressources.

- Anticipation par l'émetteur

A réception d'un crédit qui lui est octroyé par le récepteur, l'émetteur détermine si les n messages émis après le calcul du crédit seront ou non acceptés par le récepteur.

- Anticipation par le récepteur

Le récepteur envoie à l'émetteur un crédit correspondant à la quantité de mémoire qui sera libre au bout d'un temps égal au double du délai de propagation. Cette valeur du crédit est estimée à partir de la quantité de mémoire libre, des crédits envoyés précédemment et de la quantité de mémoire libérée - en moyenne - pendant ce temps là.

IV. GESTION DES EXPERIENCES

IV.1. Paramètres d'expérience

Les paramètres d'expérience sont des paramètres de la liaison ou des protocoles de transmission. Leur variation permet des séries d'expériences. Pour chacun d'entre eux, on précise le domaine de variation.

- Nature de la voie de retour
  par satellite ou par réseau terrestre

- Nature du contrôle d'erreur
  Au vol ou en fin

- Longueur des messages
  Fixée pour chaque expérience :1, 2, 4, 8 ou 16 Ko

- Taux d'erreur
  $0, 10^{-5}$, 10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8}

- Débit nominal
  8 valeurs entre 64 Kb/s et 2 Mb/s

.../...

IV.2 Expériences prévues

IV.2.1. Tests de protocole sans erreur injectée

Paramètres fixés :
- voie de retour (par satellite)
- longueur des messages
- taux d'erreur : 0

Paramètres variables :
- contrôle d'erreur
- débit.

Cette première série d'expériences comporte 2 x 8 = 16 expériences, auxquelles on ajoute 2 tests (contrôle d'erreur au vol et en fin) sur une seule machine bouclée sur elle-même si la configuration le permet. Cette série d'expériences permet de valider les systèmes utilisés (matériel et logiciel de base), et la logique générale des protocoles développés. Elle donne également une première appréciation des différentes méthodes de contrôle d'erreur en fonction du débit.

IV.2.2. Tests de protocole avec erreur injectée

Paramètres fixés :
- voie de retour (par satellite)
- longueur des messages
- débit nominal (2 Mb/S)

Paramètres variables :
- contrôle d'erreur
- taux d'erreur

Cette deuxième série d'expériences comporte 2 x 5 = 10 expériences. Elle permet d'évaluer le rendement du protocole et l'efficacité des différentes méthodes de contrôle d'erreur en fonction du taux d'erreur.

IV.2.3. Tests de l'influence de la longueur de message

Paramètres fixés :
- débit nominal (2 Mb/s)
- contrôle d'erreur (défini par les tests précédents)

Paramètres variables :
- voie de retour
- longueur de message
- taux d'erreur

Cette troisième série d'expériences comporterait 2 x5 x5 = 50 expériences, mais le taux d'erreur et la longueur de message étant liés, le nombre réel d'expériences sera inférieur à 50.

Elle permet d'étudier l'influence de la longueur des messages, en fonction du taux d'erreur, sur le rendement du protocole.

.../...

V. BIBLIOGRAPHIE

1 : UTILISATION INFORMATIQUE DES SATELLITES DE TELECOMMUNICATIONS, identification des problèmes posés et éléments de solution .
Par J.L. GRANGE, C. HUITEMA, H. ZIMMERMANN
Réf : GEN 3.500 - Décembre 1980

2 : RAPPORT DES GROUPES DE TRAVAIL DU SEMINAIRE NADIR 18 et 19 décembre 1980
Par J.L. GRANGE
Réf : GEN 3.501

3 : ETUDE DU PROTOCOLE HDLC DANS UN CONTEXTE "LIAISON PAR SATELLITE"
Par C. HUITEMA
Réf : PRO 3.500 1er Octobre 1980

4 : COMPUTER/SATELLITE - COMMUNICATIONS EXPERIMENT
par IBM/COMSAT/PTT
Réf : RES 3.020, 3.021, 3.022 du 12/77 et 12/79